

**NUEVAS TÉCNICAS EN DESCONTAMINACIÓN Y  
RECUPERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES:**

**LOS HUMEDALES COMO FILTROS VERDES**

José Álvarez Rogel y Francisco J. Jiménez Cárceles.

Área de Edafología y Química Agrícola. Dpto. de Ciencia y Tecnología Agraria.

E.T.S. de Ingeniería Agronómica. Universidad Politécnica de Cartagena. 30203-Cartagena,  
Murcia, España. Tel: 968 325 543 – Fax: 968 325 435

E-mail: [jose.alvarez@upct.es](mailto:jose.alvarez@upct.es); [francisco.jimenez@upct.es](mailto:francisco.jimenez@upct.es)

**1.- Definición y funciones de los humedales**

Los humedales se pueden definir como cualquier anomalía hídrica positiva en el paisaje, de origen natural o artificial, que no es ni un río ni un lago, y que se caracteriza por presentar comunidades biológicas o usos característicos que la diferencian del entorno (González-Bernáldez, 1988).

Estos ecosistemas son de gran interés para la preservación de la biodiversidad, por encontrarse en ellos el hábitat de especies animales y vegetales en peligro de extinción. Pero además, los humedales son sistemas idóneos para combatir la contaminación difusa originada, por ejemplo, por vertidos de aguas residuales, excedentes agrícolas o sedimentos y aguas con elevados contenidos en metales tóxicos. Por este motivo se les ha llamado *filtros verdes*.

Esta capacidad de filtración de los humedales está facilitada por la permanencia en ellos de una lámina de agua durante periodos prolongados de tiempo, lo que facilita las interacciones entre las fases sólida y líquida. De esta manera, se favorecen las posibilidades de los componentes del suelo de precipitar, neutralizar o retener las sustancias disueltas, a través de la actividad microbiológica que en ellos se desarrolla y/o de su capacidad reactiva. También la vegetación puede contribuir a retirar sustancias de la solución edáfica, a través de su capacidad de absorción de nutrientes. Cuando los humedales se encuentran en zonas litorales, estos pueden actuar como verdaderos sumideros de nutrientes que depuran las aguas de los cauces antes de que estos viertan al mar.

Los saladares son humedales caracterizados por una elevada salinidad en el agua y los suelos. Están considerados como prioritarios para la preservación de la biodiversidad (Directiva 92/43/CEE) y las especies que aparecen en ellos deben estar adaptadas tanto a la elevada humedad como a la salinidad. La mayoría estas plantas pueden alcanzar una biomasa muy acentuada, al colonizar microambientes muy definidos que no pueden ser ocupados por otras

especies. Esto se traduce en la aparición de bandas de vegetación, constituidas por comunidades casi monoespecíficas con una cobertura muy elevada.

Por tanto, en los saladares se conjuga una singular biota, adaptada e indicadora de unas condiciones ambientales particulares, con una alta productividad primaria, traducida en una elevada biomasa. Estos dos elementos dependen, a su vez, del delicado equilibrio con el sistema suelo-agua. Esto convierte a los saladares en indicadores válidos para detectar cambios ambientales que afecten a su entorno, relacionados bien con aspectos climáticos, o con emisiones antrópicas de posibles contaminantes. En este sentido, una de las líneas de investigación más importante actualmente en saladares y humedales trata sobre los beneficios y funciones ambientales que pueden reportar estos ecosistemas. De entre estos aspectos funcionales su capacidad para actuar como sumideros de contaminantes constituye uno de las temáticas de mayor interés científico en los últimos años.

## **2.- Estudio de casos en el entorno del Mar Menor, Murcia, SE de España**

El Mar Menor (6 metros de profundidad máxima) es una de las lagunas costeras más grandes (135 km<sup>2</sup>) del Mediterráneo, de la que se encuentra separada por una franja de 22 km de longitud y 100 a 150 m de ancho (La Manga) con solamente algunos canales conectando ambos. La laguna y los humedales asociados a ella están incluidos en el convenio RAMSAR de conservación de humedales por presentar hábitats y especies de elevado valor ecológico. Entre la diversidad de impactos que sufre el Mar Menor se encuentran, además de la ingente presión turística, la existencia de vertidos de diverso origen. Esto se debe a su situación en la zona de influencia del Campo de Cartagena, uno de las principales áreas de agricultura intensiva en Europa, y de las antiguas explotaciones mineras de La Unión. Se trata, por tanto, de una zona en la que se deben mantener las funciones y valores ecológicos a través del uso racional de los recursos, pero permitiendo el desarrollo económico y social de la población.

Según algunos estudios el volumen de agua proveniente de explotaciones agrícolas que se vierten a los cauces que desembocan al Mar Menor se ha incrementado en los últimos años (Martínez Fernández y Esteve, 2000). Además, la enorme actividad turística que soporta la zona en los meses de verano ocasiona un aumento de las aguas residuales procedentes de las poblaciones cercanas, que pueden saturar en ocasiones las estaciones depuradoras que se ven obligadas a verter a los cauces los excedentes no tratados. Estos vertidos son ricos en amonio, nitratos y fosfatos que, al actuar como nutrientes para las comunidades biológicas, van a provocar procesos de eutrofización allí donde estén presentes. Esto puede estar contribuyendo a

que se produzcan cambios en las comunidades bentónicas y pelágicas de la laguna, entre los que cabría destacar el aumento en las poblaciones de medusas (Pérez Ruzafa et al., 2002).

Como se ha comentado antes, otro de los impactos ambientales en la zona se debe a la presencia de residuos mineros de la cercana Sierra de la Unión-Cartagena. En esta zona se explotaron yacimientos de metales desde tiempos de los romanos, pero la extracción a gran escala comenzó a principios del siglo XX. Los residuos de esta minería quedaron depositados en escombreras o fueron vertidos directamente a los cauces desde los lavaderos de mineral, siendo arrastrados por las aguas superficiales hasta otros lugares del entorno (Vilar y Egea, 1990). Los principales minerales extraídos fueron sulfuros de hierro, zinc y plomo.

A continuación presentamos una síntesis de algunos de los resultados obtenidos por nuestro Grupo de Investigación, perteneciente a la ETSIA de la UPCT, en humedales costeros del Mar Menor.

#### *A.- La Marina del Carmolí*

Este saladar es uno de los mejor conservados de la Región de Murcia. Tiene una longitud de unos 2,5 km en dirección Norte-Sur, con una anchura máxima de unos 1,5 km y está limitado en su extremo Norte por la Rambla del Albuñón. Los suelos están formados a partir de sedimentos limosos, con encostramiento calizo algunas zonas, y arenas en la línea de costa. La zona recibe importantes volúmenes de aguas de escorrentía, fundamentalmente en periodos de lluvias torrenciales. Además, dos de las principales ramblas del Campo de Cartagena, las ramblas del Miedo y de Miranda, cuyos caudales permanecen activos incluso en verano debido al superávit de aguas de regadío y a los vertidos de aguas residuales a sus cauces, atraviesan el saladar inundando extensas zonas de éste. La Rambla del Albuñón, cuyos desbordamientos hasta hace pocos años constituían el mayor aporte hídrico de aguas continentales al saladar, se encuentra actualmente encauzada hasta su desembocadura.

Durante los años 2002 y 2003 se analizaron los contenidos en nutrientes en las aguas de la Rambla del Miedo y Rambla de Miranda justo antes de penetrar en el humedal. Además se recogieron y analizaron muestras de suelo y del agua que encharca el humedal en diferentes sectores de la zona alta (la más alejada de la playa), media y baja (la más cercana a la playa). De esta forma se pretendía comprobar si el agua se depuraba al atravesar el humedal y en qué medida el suelo retenía los posibles contaminantes. Al momento de los muestreos se midió en cada punto de recogida de agua el potencial redox (indicativo del nivel de oxígeno) y el pH en los

suelos. Al mismo tiempo se analizaron muestras de la Rambla del Albuñón a fin de identificar las características de sus aguas que vierten directamente a la laguna.

Los resultados (Álvarez Rogel et al. 2003a) indicaron que el humedal recibe una elevada concentración de nitratos (hasta 280 mg L<sup>-1</sup>) a través de la Rambla de Miranda, que recoge excedentes agrícolas, y de amonio (hasta 31 mg L<sup>-1</sup>) y fosfatos (hasta 38 mg L<sup>-1</sup>) a través de la Rambla del Miedo, a la que vierte la depuradora de El Algar-Los Urrutias. Los contenidos en nutrientes en las aguas variaron estacionalmente a lo largo del año. Las mayores concentraciones de nitratos se dieron a finales de primavera y otoño (cuando la actividad agrícola se incrementa) y las más elevadas de amonio y fosfatos en verano, cuando la población se multiplica debido al turismo.

Los datos de agua del interior del humedal indicaron que las concentraciones se redujeron hasta casi desaparecer conforme las aguas atraviesan el humedal, por lo que, cuando llegan al mar, se encuentran prácticamente depuradas. La presencia de residuos mineros con elevado contenido en hierro, los carbonatos, las variaciones en los potenciales redox y la desecación – humectación de los suelos, fueron factores que influyeron en la cantidad y formas de retención de nutrientes por parte de los suelos del humedal. Por el contrario, las aguas de Rambla del Albuñón vierten directamente al mar elevadas cantidades de nitratos, amonio y fosfatos. Se puede considerar, por tanto, que el humedal actúa como un filtro verde reduciendo la eutrofización del Mar Menor.

Además de recibir aguas eutrofizadas, en algunos sectores del humedal se encuentran elevadas cantidades de residuos de minería, que llegaron a él a través de la Rambla del Miedo desde las zonas mineras. Se han detectado elevadas concentraciones de metales totales (Jiménez Cárcelos et al. 2003): Zn hasta 17500 mg kg<sup>-1</sup>, Pb hasta 7850 mg kg<sup>-1</sup>, Mn hasta 2990 mg kg<sup>-1</sup>, Cu hasta 266 mg kg<sup>-1</sup>, As hasta 212 mg kg<sup>-1</sup> y Cd hasta 62 mg kg<sup>-1</sup>. No obstante, sólo una fracción del total se encontró en formas consideradas bioasimilables por las plantas (extracción con DTPA), con el Mn alcanzando 80 mg kg<sup>-1</sup>, el Zn 452 mg kg<sup>-1</sup> y el Pb 762 mg kg<sup>-1</sup>. Estas concentraciones indican un elevado riesgo de contaminación por metales pesados. Cuando se estudió el efecto que la rizosfera de las plantas tiene sobre la solubilidad de los metales, se comprobó que los resultados variaban dependiendo del metal y de la especie vegetal. Entre los aspectos más destacados se puede indicar la capacidad de un junco (*Juncus maritimus*) de crear un ambiente más oxigenado en el entorno de su rizosfera, de manera que contribuye activamente a insolubilizar ciertos metales tóxicos.

## B.- Saladar de Lo Poyo

Este humedal, situado a unos 5 km al Sur de la *La Marina del Carmolí*, está caracterizado por la presencia de gran cantidad de estériles mineros, que llegaron a la zona, fundamentalmente, a través una rambla que allí desemboca (la Rambla del Beal). Este fenómeno se mantuvo durante décadas, en particular en la primera mitad del siglo XX. Los estériles, que enterraron la mayor parte de los antiguos suelos, contienen elevadas cantidades de Pb, Zn, Cu y Fe.

En los estudios que se realizaron en la zona (Álvarez Rogel et al 2003, 2004) se determinaron los contenidos en de Fe, Cu, Mn, Zn y Pb en los suelos y los tallos aéreos de dos especies vegetales capaces de sobrevivir en suelos hiper-salinos.

Los resultados indicaron niveles extremadamente elevados en los suelos para el Fe=  $132650 \pm 60500 \text{ mg kg}^{-1}$ ; Pb =  $8016 \pm 4077 \text{ mg kg}^{-1}$ ; Zn =  $6940 \pm 8279 \text{ mg kg}^{-1}$ ; Mn =  $2288 \pm 1692 \text{ mg kg}^{-1}$  y Cu =  $109,8 \pm 76,7 \text{ mg kg}^{-1}$ . La fracción extraída con DTPA (considerada bioasimilable) alcanzó el 27% del contenido total para Pb y algo menos del 11% para Zn, siendo los contenidos del resto de metales considerablemente más bajos. Las plantas acumularon más Zn (máximo  $544 \text{ mg kg}^{-1}$ ) que Pb (máximo  $246 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y lo hicieron principalmente en sus tallos leñosos.

Cuando se calcularon las cantidades totales de metales en los 20 cm superficiales del suelo por metro cuadrado, en función de la densidad aparente de este, los niveles alcanzaron los  $82,3 \text{ kg m}^{-2}$  de Fe, los  $9,7 \text{ kg m}^{-2}$  de Zn, los  $3,96 \text{ kg m}^{-2}$  de Pb y los  $1,8 \text{ kg m}^{-2}$  de Mn. Así mismo se estimaron, en base a la biomasa de la vegetación, valores de acumulación en planta que alcanzaron los  $324 \pm 73 \text{ mg}$  de Pb y los  $391 \pm 126 \text{ mg}$  de Zn por metro cuadrado.

En base a diversos umbrales de toxicidad y normativas Nacionales y Europeas, el lugar puede considerarse altamente contaminado y existe riesgo de que los metales pasen a la cadena trófica, sobre todo si se produce pastoreo en la zona o a través de los organismos marinos que se alimentan y/o viven en el fango de las orillas.

Desde el punto de vista de la dinámica del humedal, la existencia de periodos prolongados de inundación puede contribuir a inmovilizar ciertos metales al formarse sulfuros metálicos. Por otro lado, la existencia de plantas que pueden sobrevivir en estos suelos, extremadamente salinos y con niveles de contaminación tan elevados, supone una opción para estabilizar los sedimentos, reduciendo el arrastre de estos a la laguna del Mar Menor por las aguas de escorrentía. Finalmente, la asimilación de metales por estas especies puede contribuir a la inmovilización de metales que se encuentren en forma bioasimilable.

### 3.- Bibliografía

- Álvarez Rogel, J., Jiménez, F.J. y Egea, C. 2003a. Water quality in a coastal salt marsh in semiarid SE Spain: monitoring nutrients and salts inputs from areas with intensive soil use Workshop on Desertification in the Mediterranean Region. A Security Issue.
- Álvarez Rogel, J., Ramos, M.J. y Delgado, M.J.. 2003b. Características edáficas y contaminación por residuos mineros en el paraje protegido saladar de Lo Poyo, Región de Murcia. I Symposium Nacional sobre control de la erosión y degradación del suelo.
- Álvarez Rogel, J., Ramos Aparicio, M.J., Delgado Iniesta, M.J. y Arnaldos Lozano, R. 2004. Metals in soils and above-ground biomasa of plants from a salt marsh polluted by mine wastes in the coast of the Mar Menor lagoon, SE Spain. Fresenius Environmental Bulletin, 13:274-278.
- González Bernáldez, F., 1988, Typology of wetlands and evaluation of the resources they represent: International Symposium on Hydrology of Wetlands in Semiarid and Arid Regions.
- Jiménez Cárceles, F. J., Álvarez-Rogel, J., Von Bennewitz Alvarez, E., Delgado, M.J. and Ortiz, R. 2003. Heavy Metals in Soils from a Coastal Salt Marsh (Marina del Carmolí) of SE Spain 8<sup>th</sup> Symposium on Biogeochemistry of Wetlands
- Martínez Fernández, J. y Esteve, M.A. 2000. Estimación de la entrada de nutrientes de origen agrícola en el Mar Menor mediante un modelo dinámico. Mediterránea. Serie de estudios biológicos.
- Pérez-Ruzafa, A., Gilabert, J., Gutiérrez, J.M., Fernández, A.I., Marcos, C. and Sabah, S. 2002. Evidence of a planktonic food web response to changes in nutrient input dynamics in the Mar Menor coastal lagoon, Spain. Hydrobiologia 475/476, 359-369.
- Vilar, J.B. y Egea, P.M.: 1990, *La minería murciana contemporánea (1840-1930)*. Caja Murcia and Universidad de Murcia. Murcia, Spain.